УДК 550.812.2:553.641

БИРИКЭЭНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ФОСФАТОВ

Г.Ю. Боярко

Томский политехнический университет
E-mail: bgj@mail.tomsknet.ru

Экзогенное Бирикээнское месторождение фосфатов в Южной Якутии представлено образованиями мезо-кайнозойской площадной коры выветривания, развитой по раннепротерозойским апатит-карбонатным метасоматитам селигдарского типа. Полезными минералами являются обломочный апатит и новообразованный франколит. Запасы и ресурсы Бирикээнского месторождения составляют 64,2 млн т P_2O_5 при среднем содержании 7,79 % P_2O_5 и коэффициенте рудоносности 0,777. В северной части месторождения выделен локальный блок богатых фосфатных руд со средним содержанием 19,73 % P_2O_5, который включает 5,5 млн т P_2O_5.

Бирикээнское месторождение фосфатов расположено в бассейне одноименного ручья (правого притока р. Тимптон) и его притока Правого Бирикээна в Нерюнгринском улусе Республики Саха-Якутия, в 25 км к востоку от Амуро-Якутской железной дороги (рис. 1). Оно обнаружено в процессе специализированных поисков урана ПГО "Приленскгеология" и оценивалось силами ФГУП "Алдангеология" [1, 2].



Рис. 1. *Схема расположения фосфатных месторождений юга Якутии*

Основное рудное тело месторождения сложено породами фосфатоносной кайнозойской коры выветривания, развивающимися по раннепротерозойским апатитоносным кальций-магниевым метасоматитам селигдарского типа (карбонатным и силикатным) в толще метаморфических образований (гнейсов и кристаллосланцев, реже кальцифиров) федоровской свиты раннего архея (рис. 2) [3]. Вмещающие метаморфические породы насыщены инъекциями позднеархейско-раннепротерозойских гранитоидов, переходящие в сплошные поля. Полоса развития апатитоносных кальций-магниевых метасоматитов приурочена к зоне тектонического нарушения северо-западного простирания. Её ширина от 300 м до 1,8 км протяженность свыше 10 км. На северо-западном фланге апатитоносная пачка перекрывается горизонтально залегающими юрскими континентальными осадками (песчаниками). В близповерхностной части месторождения апатитоносные кальций-магниевые метасоматиты, а также вмещающие их породы подверглись интенсивному химическому выветриванию. Мощность разреза площадной коры выветривания составляет 30...210 м (в среднем 155 м), а в зонах разрывных нарушений – до 250 м и более. В пределах месторождения выконтурена обогащенная фосфатами ленточная залежь общей протяженностью 9,2 км и шириной от 150 до 620 м. Верхняя её кромка ограничена дневной поверхностью, нижняя же – глубиной распространения коры выветривания. Мощность же собственно фосфатоносной залежи по данным бурения составляет в среднем по буровым линиям от 77 до 196 м, достигая в отдельных пересечениях 225 м (в среднем по месторождению 135 м).

Фосфатоносными образованиями на месторождении являются:

- раннепротерозойские апатит-силикатные метасоматиты, содержащие 1...3 % P_2O_5;
- раннепротерозойские апатит-карбонатные метасоматиты, концентрация P_2O_5 в них 3...6 %;
- апатит-франколит-слюдисто-полевошпатовые нелитофицированные образования кайнозойской коры выветривания, содержащие до 30...40 % P_2O_5.

Первые два типа апатитоносных образований полностью идентичны апатит-силикатному и апатит-карбонатному промышленным типам Селиг-

дарского месторождения апатита. Отличительными чертами являются лишь следующие особенности – отсутствие вторичных (зеленосланцевых) изменений силикатной составляющей руд и относительно низкие концентрации апатита.

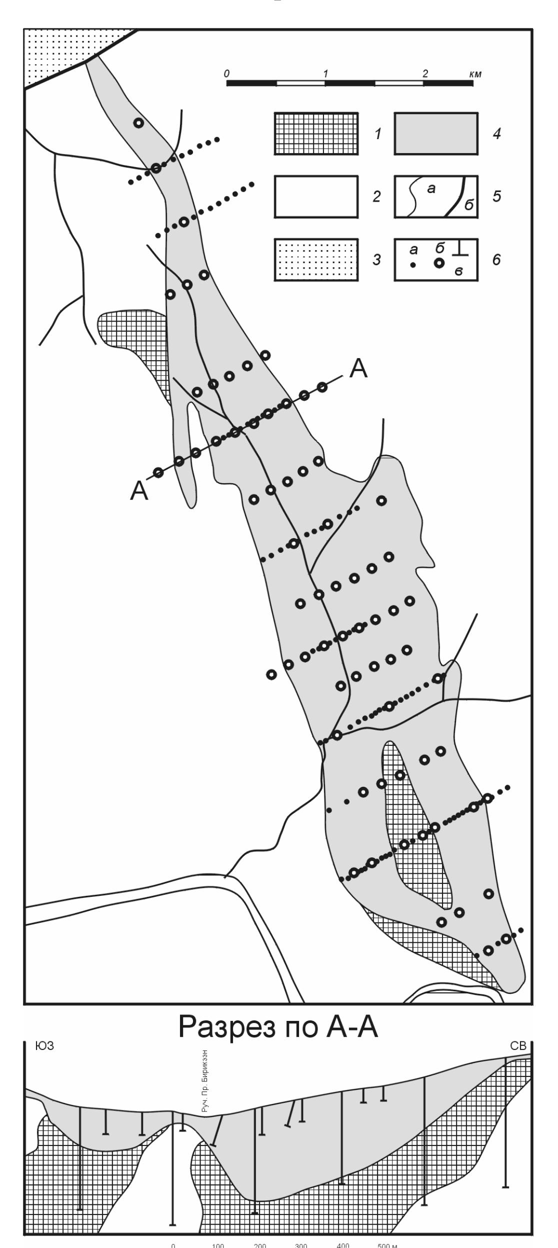


Рис 2. *Схематическая геологическая карта Бирикээнского месторождения: 1) рудовмещающие образования федоровской свиты раннего кембрия (биотитовые, роговообманковые, диопсидовые гнейсы, вмещающие линзы раннепротерозойских апатит-силикатных и апатит-карбонатных метасоматитов); 2) позднеархейско-раннепротерозойские граниты и гранитогнейсы; 3) породы верхнего структурного этажа) юрские песчаники; 4) рыхлые образования кайнозойской коры выветривания гематит-франколит-апатит-гидрослюдисто-кварц-полевошпатового состава; 5) геологические границы (а) и разрывные нарушения (б); 6) точки заложения скважин: а) картировочных (глубиной до 30 м), б) поисковых и разведочных; в) проекции скважин на разрезе*

Апатит-карбонатные образования Бирикээнского месторождения представляют собой массивные, иногда кавернозные породы от светло-розового до темно-вишневого цвета порфиробластовой реже полосчатой текстуры, неравномернозернистой (от мелко- до крупнозернистой) структуры. Апатит встречается в виде призматических кристаллов размером от 0,1 мм до 10...15 см. Цвет его в большинстве случаев светло-зеленый значительно реже встречаются светло-голубые и вишневые (за счет пигментации гематитом) разности. Концентрация его в объеме породы неравномерна, но редко превышает 5...7 % (2...3 % P_2O_5). Имеются лишь единичные участки развития апатит-карбонатных пород с повышенной концентрацией P_2O_5 (до 4...7 %). Силикатные минералы представлены неизмененными (в отличие от селигдарских руд) флогопитом и диопсидом. Встречающаяся полостчатая текстура обусловлена субпараллельной ориентацией порфиробласт апатита и флогопита. Основную массу породы слагают карбонаты, ксеноформные по отношению к минералам порфиробласт и представлены кальцитом и доломитом. Апатит-карбонатные и апатит-силикатные породы, подвергшиеся выветриванию, меняют окраску, приобретая интенсивные буровато-сиреневые, вишневые тона за счет гидроокислов железа. Текстура таких пород становится кавернозной, пористой.

Возраст первичного апатитового оруденения по данным рубидий-стронциевого датирования флогопита из апатит-карбонатных руд Бирикээна составляет 1764 млн лет, а по изотопному составу свинца апатитов из апатит-силикатных руд близрасположенного Усть-Чульманского проявления апатита – 1760...1940 млн лет [4]. Таким образом, апатит-силикатные и апатит-карбонатные руды Бирикээна синхронны времени формирования Селигдарского месторождения апатит-карбонатных метасоматитов.

Последний тип нелитифицированных фосфатных руд ранее в Южной Якутии не выделялся. Вторичные образования – фосфатоносные продукты коры выветривания представляют собой дезинтегрированную рыхлую массу пелитовой и псефитовой размерности с включением обломков щебня и глыб апатитоносных и безрудных вмещающих пород. Окраска рыхлой коры выветривания пестрая с преобладанием сиреневого, буровато-сиреневого, вишневого, кирпично-вишневого и кирпично-красных тонов. Глинистая составляющая продуктов рыхлой коры выветривания представлена смешанно-слоистыми минералами из группы корренсита, гидрослюдами, монтмориллонитом, хлоритом, вермикулитом и тальком. Песчанистый материал состоит в основном из кварца, полевого шпата, обломков апатита, мартита и франколита. Состав рыхлых образований фосфатоносной коры выветривания приведен в табл. 1. Отдельные блоки франколит-апатитовых руд литофицированы за счет пропитки рыхлого материала франколитовым цементом, в основном в подошве коры выветривания, но общее количество отвердевших рудных об-

Таблица 1. *Химический и минералогический состав образований фосфатоносной коры выветривания Бирикээнского месторождения, % мас. (по данным исследования технологических проб)*

P_2O_5	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Апатит	Франколит	Кварц+ полевой шпат	Биотит+ вермикулит	Хлорит+ тальк	Лимонит+ гетит	Органическое вещество
11,78	5,83	3,65	5,24	48,2	19,3	9,00	49,2	16,3	–	2,70	0,315
6,10	6,40	5,41	7,05	55,0	11,4	3,22	48,7	12,3	11,17	4,43	0,075
16,59	4,60	6,52	5,40	36,4	10,2	42,10	35,5	3,5	5,70	4,50	0,0
6,48	7,00	4,00	7,30	55,8	13,4	3,87	52,6	18,0	6,88	3,97	0,308

разований не превышает 10 % от их общего количества. Ложе образований коры выветривания характеризуется крайней неравномерностью с карманами и выступами, что связано с наличием в составе подстилающих пород карстующихся карбонатных пород перемежающимися с более устойчивыми алюмосиликатами. Возраст коры выветривания постюрский – в ее составе имеются выветрелые обломки юрских песчаников.

Мезо-кайназойские фосфатоносные образования Бирикээна относятся к типу остаточных или остаточно-инфильтрационных кор выветривания типа Белозиминского месторождения на Восточном Саяне и Сукулу в Уганде. За счет выветривания бедных и убогих апатитоносных кристалических пород фундамента сформировались обогащенные фосфором (содержащих 7...25 % P_2O_5) отложения в пределах образований и площадной коры выветривания.

Полезными компонентами в рудах являются апатит и франколит. Апатит встречается в виде округлых, призматических и короткостолбчатых кристаллов и их обломков, бесцветных, голубовато-зеленоватой и сургучной окраски. Зерна апатита содержат включения гематита и карбоната, приуроченные к плоскостям спайности и трещинам дробления. Зачастую обломки зерен апатита покрыты пленками гидроокислов железа, франколита и органического вещества. Содержание P_2O_5 в апатите – 41,73 % (см. табл. 2), содержание апатита в рыхлой коре выветривания 10...25 %. Франколит представлен радиально-лучистыми сферолитовыми агрегатами в пустотах и трещинах отрыва, в виде швов, цемента, сливных тонкозернистых масс, а также в виде оторочек по периферии зерен апатита. Цвет франколита бурый, светло-бурый, розовато-белый и белый. Агрегаты франколита зачастую покрыты пленками, корочками и налетами гидроокислов железа и органического вещества. Содержание P_2O_5 во франколите – 38,11 %, содержание франколита в рыхлой коре выветривания – 5...90 %. Соотношение апатита и франколита в руде колеблется от 20:1 до 1:5, составляя в среднем 5:1. Основную массу фосфатоносных продуктов выветривания составляют – полевые шпаты (15...30 %), кварц (12...20 %), вермикулит+гидрофлогопит (12...31 %), хлорит (0...5 %), серицит (0...5 %), гематит (4...6 %), карбонаты (0...5 %), диопсид (0...10 %), цеолит (0...15 %). В качестве акцессорных минералов отмечаются эпидот, пирит, сфен, циркон, монацит.

Таблица 2. *Средний состав апатита и франколита Бирикээнского месторождения, % мас. (рассчитано по исходным данным В.Н. Гулия [5] и А.Р. Энтина)*

Минерал	CaO	FeO	SrO	BaO	CeO_2	ThO_2	P_2O_5	F	Cl	SO_3
Апатит	52,55	0,04	0,22	0,06	0,35	0,08	41,73	3,25	0,24	1,13
Франколит	52,26	0,03	0,07	0,10	0,01	0,01	38,11	3,09	0,04	0,0

Среднее содержание P_2O_5 по месторождению составляет 6,4 %, коэффициент рудоносности 0,74. В качестве попутных полезных ископаемых можно рассматривать породы скальной вскрыши: песчаники на СЗ фланге месторождения, гранито-гнейсы – по периферии рудного тела; вероятные попутные полезные компоненты – гематит (мартит), составляющий до 5 % объема рудных образований, и вермикулит – до 30 %; попутные полезные примеси: в апатите – редкие земли (CeO_2 0,26...0,95 %, La_2O_3 – 0,08...0,21 %), F (3,17...3,32 %), Sr (0,14...0,27 %) и Ba (0,01...0,20 %); во франколите – CeO_2 (0...0,08 %), F (3,04...3,37 %), SrO (0...0,06 %), Th практически отсутствует.

Ввиду интенсивности экзогенных процессов при формировании кор выветривания обнаружение фосфатоносных образований бирикээнского типа простыми геологическими методами затруднительно – месторождения находятся в депрессиях рельефа, рудные образования практически везде перекрыты делювиальными шлейфами безрудных вмещающих пород.

В геофизических полях фосфатоносные коры выветривания фиксируются в виде зон гравитационного разуплотнения, зон повышенной электропроводимости (за счет сильной обводненности рыхлых руд), ровными отрицательными магнитными аномалиями (за счет мартитизацией магнетита), а также аномальным радиационным гамма-фоном (обусловленный присутствию тория в апатите) [6]. Собственно, Бирикээнское месторождение фосфатов и было обнаружено в результате заверки радиоактивной аномалии при массовых поисках урана. Кроме того, фосфатноносные образования хорошо фиксируются в литогеохимических ореолах рассеяния фтора и особенно редких земель (церия, лантана) [7, 8].

Оценка запасов и ресурсов Бирикээнского месторождения осуществлялась на основе кондиций аналога – Селигдарского месторождения апатита: бортовое содержание P_2O_5 – 3 %, минимальная мощность рудного интервала и безрудного прослоя – 10 м. Данные о вредных примесях которые могут войти в кондиции, на сегодня не определены. В ка-

честве негативных факторов обогащения руды технологами названы примеси органического вещества (0,075...0,315 %) и гидрослюды (3,5...18,0 %), предельные содержания которых могут быть включены, в дальнейшем, в кондиции. Объемный вес рудных образований по данным крупнообъемных замеров составляет 2,2 т/м^3. Всего по Бирикээнскому месторождению запасы и ресурсы составляют 64,2 млн т P_2O_5 при среднем содержании 7,79 % P_2O_5 и коэффициенте рудоносности 0,777. В северной части месторождения выделен локальный блок богатых фосфатных руд со средним содержанием 19,73 % P_2O_5, который включает 5,5 млн т P_2O_5.

Ресурсы попутных полезных ископаемых и компонентов оцениваются ориентировочно: суммы редких земель цериевой группы – 230...750 тыс. т, фтора – 2400...5000 тыс. т, мартита – 2...3 млн т, вермикулита – 50...100 млн т, скальных пород для производства строительных материалов – до 300 млн т.

Технологические испытания на обогатимость выполнены в Дальневосточном институте минерального сырья (ДВИМС, г. Хабаровск) и Государственном институте горно-химического сырья (ГИГХС, г. Люберцы, Московской обл.). Различными исследователями руды месторождения однозначно определены как труднообогатимые. Полное раскрытие апатита происходит в классе –0,2 мм, в классе –0,4 мм его свободных зерен составляет 95...97 %. Удельная поверхность бирикээнского апатита составляет 1,6 м^2/г. При измельчении руды франколит, склонный к самоизмельчению, образует значительное количество тонких игольчатых зерен попадающих в шламовую фракцию. Раскрываемость франколита лучше, чем у апатита: полное в классе –0,2 мм, в классе –0,4 мм его свободных зерен 97...96 % и более. Удельная поверхность франколита более чем в полтора раза выше, чем у апатита и составляет 2,6 м^2/г.

На процесс обогащения фосфатов негативное влияние оказывают гидрослюды и органическое вещество. Гидрослюды представлены преимущественно вермикулитом в виде чешуек размером до 5 мм. Как минерал, склонный к переизмельчению, он является составной частью тонкодисперсных шламов. Обладая большой сорбционной емкостью, вермикулит зашламовывает фосфатный концентрат, снижая его качество. Органическое вещество наблюдается в виде тонкодисперсных (менее 1 мкм) выделений, а также пленок и интерстиционных выполнений во франколите и на обломках породы, в ассоциации с пленками гидроокислов железа. В апатите эти образования не наблюдаются. В процессе флотационного обогащения органическое (или железо-органическое) вещество способствует образованию стойкой трудноразрушаемой пены, ухудшающей условия перечистных операций.

При исследовании возможности флотационного обогащения фосфатных руд испытывались схемы коллективной и последовательной селективной флотации в открытом и замкнутом (2–6 перечисток) цикле. При этом получались, соответственно, коллективный фосфатный концентрат и раздельные апатитовый и франколитовый концентраты. Получение селективных концентратов по экономическим расчетам было признано неэффективным в сравнении со схемой коллективной флотации. На основании технико-экономических расчетов наиболее перспективными являются схемы прямой коллективной флотации в замкнутом цикле (3–4 перечистки). В результате обогащения получены 34,5...36,0 %-ные фосфатные концентраты при извлечении в концентрат – 76...80 %.

На двух лабораторных пробах была исследована возможность получения из бедных 24...27 %-ных фосфатных концентратов *плавленых кальций-магниевых фосфатов* (ПКМФ). Извлечение в концентрат составляет при этом 75...82 %, количество перечистных операций сокращается до двух. Просматриваемая при этом технология переработки бирикээнского фосфатного концентрата сплавлением с дунитами Инаглинского массива экономически эффективна, но, не смотря на весьма хорошие показатели вегетативных опытов с ПКМФ, в крупных масштабах плавленые кальций-магниевые фосфаты пока не используются. Производство этого продукта возможно только после развития его рынка потребления, создать который возможно и искусственно-продуманной рекламной компанией.

В ДВИМСе были произведены также опыты по изменению потребительских свойств полученного фосфатного концентрата. За счет механоактивации концентрата содержание лимоннорастворимой формы P_2O_5 в нем было повышено с 3...5 % до 15...20 %, и в таком состоянии он может быть использован как готовый продукт – *фосфорная мука*.

Предприятия России, производящие фосфорные минеральные удобрения, вследствие перманентного кризиса экономики используют производственные мощности на 40...50 %. В 2002 году производство апатита составило 7,5 млн т (19,24 млн т в 1990 г.), на экспорт поставлено 3,6 млн т апатитового концентрата. Для переработки на сложные удобрения используется 3,9 млн т фосфатного сырья, однако до 90 % произведенных фосфорных удобрений поставлено на экспорт и лишь 350 тыс. т – использовалось в России (4 кг P_2O_5 на 1 га). Это объясняется отнюдь не отсутствием внутреннего спроса, а низкой платежеспособностью российских сельскохозяйственных потребителей. Рациональный же объем фосфорных удобрений, необходимый для внесения в обрабатываемую почву, должен составлять для России 11,5...12 млн т P_2O_5 в год [9–11].

Спецификой российской отрасли производства и переработки фосфорного сырья являются:

- низкие отпускные цены FOT (60...80 $/т апатитового концентрата или фосфорита), что повышает риск убытков добывающего производства фосфатного сырья в условиях экономических кризисов;
- локальное размещение крупных предприятий по производству удобрений в глубине европейской части России, вдали от поставщиков фосфатного сырья и морских портов;

– высокие затраты на транспортировку фосфатного сырья и фосфорных удобрений к потребителям, что увеличивает цены CIF в 1,5...2 раза по сравнению с отпускными.

В результате отсутствия производства минеральных удобрений в восточной части России всегда ставился вопрос об обеспечении сельского хозяйства Сибири и Дальнего Востока собственным фосфатным сырьем. До сих пор сельхозпредприятия этих регионов используют преимущественно естественные ресурсы почв. Даже в 1991 г. внесение фосфатных удобрений здесь не превышало 5 % от рационального уровня. Годовая потребность в фосфатных удобрениях составляет 900 тыс. т для Западной Сибири, 450 тыс. т – для Восточной Сибири и 250 тыс. т – для Дальнего Востока [12]. В качестве вариантов покрытия дефицита фосфатного сырья уже предпринималась попытка опытной эксплуатации Ошурковского месторождения апатита в Республике Бурятия, составлялись проекты освоения Белозиминского месторождения фосфатов в Иркутская области и Селигдарского месторождения апатита в Республике Саха-Якутия. Общий кризис экономики полностью заморозил развитие рынка фосфатного сырья на востоке России, а к настоящему времени проекты освоения названых месторождений (с крупными запасами, но бедными рудами) совершенно не просматриваются ввиду изменений масштабов цен на сырье и условий налогового законодательства.

Разведка Бирикээнского месторождения фосфатов также была прекращена в результате кризиса геологоразведочной отрасли. Однако полученные предварительные данные позволяют рассматривать варианты его освоения, которые более оптимистичны по сравнению с проектом разработки близрасположенного Селигдарского месторождения апатита [13]. Они следующие:

1. На Бирикээнском месторождении возможно сокращение первоначальных вложений инвестиций за счет организации двухэтапной разработки:
   – первой очереди на богатом блоке северной части месторождения; его руды без обогащения могут быть реализованы как III-й сорт фосфатной муки, а с гравитационным обогащением – и на I-й сорт;
   – после ввода мощностей первой очереди и получения доходов от действующего производства, возможно инвестирование вновь полученных собственных средств на создание полномасштабного обогатительного комплекса второй очереди и вовлечение в производство рядовых руд.
2. Разработка Бирикээнского месторождения исключительно благоприятна:
   – по географо-экономическому положению: расстояние до железной дороги, автодороги республиканского значения и ближайших линий электропередачи составляет 25...40 км, на их площади отсутствуют сельхозугодия и особо охраняемые территории;
   – по горнотехническим условиям эксплуатации: отсутствие вскрыши, рыхлое состояние самих руд и вмещающих пород, коэффициент вскрыши с учетом разноса бортов карьера не превышает 1,5;
   – по технологическим свойствам руд: легкая измельчаемость рыхлых руд (коэффициент крепости по Протодъяконову 1,0...1,5, коэффициент Бонда менее 5), отсутствие в составе франколита радиоактивного тория, возможность получения попутного слюдяного (вермикулитового) концентрата.
3. Реальный близрасположенный рынок сбыта фосфатов – Китай. Не смотря на то, что КНР занимает второе место в мире по добыче фосфатного сырья, эта страна является и главным мировым импортером удобрений. Фосфатное сырье, в готовом для внесения в почву виде (фосфатной муке), является ликвидным и востребованным на китайском рынке товаром (в отличие от апатитового концентрата, требующего дальнейшей переработки). А при улучшении экономического положения сельхозпредприятий Дальнего Востока России потребительский рынок фосфатного сырья будет только увеличиваться.
4. Освоение Бирикээнского фосфатного месторождения с годовым производством до 1...2 млн т фосфатного сырья (фосфатного концентрата, фосфатной муки, плавленых кальций-магниевых фосфатов) может стать для Нерюнгринского улуса Республики Саха-Якутия альтернативным вариантом диверсификации горнодобывающей промышленности на фоне сокращения объемов добычи угля на Нерюнгринском разрезе ОАО Якутуголь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краевский Б.Г., Нургалиев Г.Н., Суховерхова М.В., Светлицкий Н.И. Гипергенное фосфатонакопление в Мелемкенском районе Алданского щита // Месторождения агрохимического сырья на юге Дальнего Востока. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. – С. 7–23.
2. Боярко Г.Ю., Сучков В.Н. Фосфаты Южной Якутии // Проблемы геологии, геофизики и полезных ископаемых Алдано-Станового геоблока. – Якутск: ПГО "Якутскгеология", 1990. – С. 127–131.
3. Боярко Г.Ю. Коры выветривания Бирикээнской группы фосфатных месторождений (Южная Якутия) // Важнейшие промышленные типы россыпей и месторождений кор выветривания, технология оценки и освоения: Тез. докл. XI Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. – Дубна. 15–19 сентября 1997 г. – М.: ИГЕМ, 1997. – С. 48.
4. Энтин А.Р., Зайцев А.И., Тян О.А. и др. Признаки участия глубинных источников в генезисе апатитовых руд селигдарского типа // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 108. – № 2. – С. 457–460.

5. Гулий В.Н., Иевлев А.А. Состав и особенности фосфатов месторождения Бирикээн // Литология и полезные ископаемые. – 1990. – № 6. – С. 44–55.

6. Боярко Г.Ю., Локтионов А.В. Отражение фосфатоносных кор выветривания бирикээнского типа в геофизических полях // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях. – Томск: ТПУ, 2003. – С. 195–198.

7. Боярко Г.Ю. Геохимические поиски фосфатоносных кор выветривания бирикээнского типа (Южная Якутия) // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. – Томск: ТПУ, 2003. – С. 139–141.

8. Боярко Г.Ю. Применение ядерно-физических методов для анализа фосфатных руд месторождений Южной Якутии // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 6. – С. 18–20.

9. Филько А.С. Файзуллин Р.М., Карпова М.И. и др. Фосфатные руды России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 1994. – № 5. – С. 18–25.

10. Киперман Ю.А., Комаров М.А., Филько А.С. Особенности минерально-сырьевой базы фосфатов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 1996. – № 5. – С. 13–16.

11. Аксенов Е.М., Ведерников Н.Н., Чуприна Н.С., Рябикин В.В. Агрохимическое и горно-рудное сырье на рубеже XXI в. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2000. – № 5–6. – С. 7–15.

12. Фархутдинов Р.З., Карпова М.И., Зеленихин В.А. и др. Минерально-сырьевая база фосфатных и нетрадиционных агрохимических руд Сибири и Дальнего Востока: перспективы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 1999. – № 6. – С. 6–11.

13. Боярко Г.Ю. Перспективы освоения Бирикээского месторождения // Проблемы освоения и перспективы развития Южно-Якутского региона. – Якутск: Якутский госуниверситет, 2001. – С. 24–27.

УДК 622.831.232